

STATO DELL'ARTE E AMBITI APPLICATIVI POTENZIALI DELLE TECNICHE DI MONITORAGGIO ANIMALE: SIMULAZIONI IN AMBIENTI REALI

Barbari M., Conti L., Simonini S.

Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale, Via San Bonaventura, 13 – 50145 Firenze,
Tel. +39 055 3288630, Fax +39 055 310224, matteo.barbari@unifi.it

Riassunto

Il presente lavoro si propone di illustrare l'evoluzione storica degli strumenti per il monitoraggio animale. Nel corso degli anni diverse soluzioni tecnologiche (riprese video, radio-tracking, GPS, ecc.) sono state adottate per monitorare il comportamento animale nei differenti ambienti di allevamento (poste individuali, box, piccoli recinti, aree a pascolo, aree boschive, ecc.). Oggi, grazie alle *RFID* e ad altre tecnologie *wireless*, il processo di identificazione degli animali o di localizzazione di aree di studio specifiche (zone di abbeverata, alimentazione, ombreggiamento, ecc.) diventa più preciso e automatico.

Le simulazioni-studio presentate si prefiggono di individuare ed analizzare le possibilità tecnico-applicative delle soluzioni adottabili per il monitoraggio animale nelle nostre realtà territoriali.

Parole chiave: sistemi di posizionamento, comportamento animale, monitoraggio, *RFID*.

Summary

The present paper aims at showing the historical evolution of equipment for animal monitoring. Over the years many technological solutions (video systems, radio-tracking, GPS, etc.) have been adopted to monitor animal behaviour in different housing environments (individual stalls, pens, grazing areas, wooded areas, etc.). Today, thanks to RFID and other wireless technologies, the process of animal identifying or localization of specific study areas (f. e. drinking, feeding, shading areas) is becoming more precise and automatic.

In the paper some study-simulations are presented in order to detect and analyze the technical applicative possibilities of fit solutions for animal monitoring in different kinds of breeding.

Key words: positioning systems, animal behaviour, monitoring, RFID

1. INTRODUZIONE

Il tracciamento degli animali, meglio conosciuto come “*tracking of animals*”, si è sviluppato dall'età preistorica (graffiti raffiguranti uomini all'inseguimento di mandrie di animali con lo scopo di cacciarli o addestrarli) ai giorni nostri, dai cacciatori primordiali agli etologi, i quali nel tempo hanno concentrato gli obiettivi delle ricerche sullo studio dei modelli comportamentali avvalendosi del prezioso contributo di sempre più raffinate tecnologie di rilevamento.

In tal senso, occorre distinguere le tecniche di rilevamento più idonee sia agli ambiti territoriali di studio (piccoli recinti, vaste aree pascolive, ecc.) sia alle popolazioni animali monitorate (selvatiche e domestiche). Per quanto riguarda lo studio del collocamento spaziale degli animali selvatici e domestici su vaste aree di territorio, la bibliografia in materia dimostra come negli anni si sia passati dalla semplice osservazione visiva, indirizzata allo

studio dello stile di vita degli animali, all'utilizzo di strumentazioni più adeguate che hanno permesso di fare stime dettagliate dell'*home-range*, dei movimenti giornalieri e dell'uso dell'*habitat* da parte degli animali (Rodgers *et al.*, 1996).

Diversi approcci metodologici e tecnologici sono stati sviluppati per il tracciamento degli animali, soprattutto laddove le impronte degli stessi non erano prontamente osservabili sul terreno o non utilizzabili per gli scopi richiesti. Negli anni, infatti, sono state individuate e messe a punto diverse tecniche di rilevamento: dalle bobine di filo fatte scorrere dietro piccoli mammiferi in zone molto ristrette di *habitat*, fino ai marcatori fluorescenti applicati su animali di piccola taglia capaci di essere identificati con l'aiuto di una fonte di luce ultravioletta (Hooveland e Andreassen, 1995).

Queste tecniche si sono poi trasformate in supporti a metodologie più moderne e, in particolare, alla radio-telemetria animale. La realizzazione della prima radio-VHF adatta per simili ricerche risale ai primi anni '50 ed ha rappresentato un'effettiva rivoluzione nella strumentazione disponibile per gli studiosi di *wildlife tracking*. Tale tecnologia è in grado di operare sia a lunghe distanze che su aree locali e può richiedere architetture molto complesse. In molti casi la realizzazione e la gestione di connessioni via cavo può essere problematica e il ricorso ai servizi di telemetria si è tradotto in un significativo miglioramento dei risultati, soprattutto se relativi all'acquisizione di dati per la localizzazione sul territorio di animali selvatici in movimento. Il continuo progresso tecnologico relativo a questo settore, si è rivolto principalmente a risolvere le limitazioni strumentali e ha offerto necessariamente stimoli per la progettazione di strumenti sempre più affidabili e adattabili, nel peso e nelle dimensioni, a qualsiasi specie animale.

Da quando poi sono stati lanciati in orbita i primi satelliti intorno agli anni '60, gli studiosi hanno iniziato a considerare la possibilità di seguire gli animali dallo spazio tramite sistemi telemetrici satellitari, in particolare col GPS. Tale strumentazione ha offerto nuove opportunità di ricerca per studi sugli *habitat* della fauna selvatica e domestica.

Recentemente il processo di identificazione degli animali ha compiuto un ulteriore passo avanti grazie alle *RFID* e ad altre tecnologie *wireless*.

All'interno degli edifici di allevamenti zootecnici il monitoraggio degli animali è avvenuto ricorrendo sia all'osservazione diretta degli animali da parte dell'uomo sulla base di adeguati protocolli di sperimentazione (durata dei rilievi, intervallo tra i rilievi, ecc.) sia all'utilizzo di sistemi di videoregistrazione, in genere costituiti da telecamere abbinate ad illuminatori a infrarossi e videoregistratori *time-lapse*.

Nel presente lavoro viene riportata una breve cronologia storica sullo sviluppo delle diverse tecniche di monitoraggio finalizzate allo studio del comportamento animale, con valutazioni tecnico-economiche sulle differenti soluzioni.

2. ANALISI DEI SISTEMI DI MONITORAGGIO

2.1. MONITORAGGIO IN AMPI SPAZI ALL'APERTO

Secondo quanto riportato in letteratura, gli studiosi di comportamento animale hanno inizialmente basato l'acquisizione di informazioni sul movimento e la distribuzione delle popolazioni animali avvalendosi delle osservazioni visive e della convenzionale tecnologia radio, come fondamentale e innovativo sostegno alla ricerca. Numerose applicazioni di telecontrollo sono state condotte sugli spostamenti degli animali, anche in riferimento agli animali di interesse zootecnico, in particolare per valutare la densità di utilizzazione delle diverse aree di pascolo; questo con l'ausilio della radio-telemetria, ovvero con la tecnica di misurazione delle distanze mediante telemetro per il monitoraggio a distanza degli animali.

Tale tecnica si basa sulla propagazione di un segnale radio su frequenze VHF/UHF emesso da un trasmettitore posto sul collo dell'animale (sostenuto da un collare), segnale che viene captato per mezzo di un'antenna direzionale collegata ad una radio ricevente. L'applicazione di piccole emittenti radio agli animali consente agli studiosi di seguirli e di registrarne le attività (riposo, alimentazione, ecc), senza rischiare di alterarne le abitudini naturali.

Tale sistema di rilevamento, via radio o reti cellulari, pur garantendo livelli di sicurezza apprezzabili per quanto riguarda la tecnologia di funzionamento, non può essere riconosciuto immune da difetti. Infatti, il segnale potrebbe non essere sempre costante a causa di numerosi fattori, quali ad esempio la morfologia del territorio e l'influenza della vegetazione che ostacola l'orizzonte radio tra trasmettitore e ricevente. Oltre agli ostacoli sulla trasmissione/ricezione delle onde radio, altre possibili fonti di inconvenienti si possono riscontrare per le avverse condizioni meteorologiche che rendono problematica la completa acquisizione dei dati. Parallelamente sono state verificate anche limitazioni sull'esattezza e sulla precisione delle misurazioni effettuate: numerosi studi comparativi hanno accertato notevoli differenze nella qualità delle prestazioni fornite tra la tecnologia radio VHF e la tecnologia satellitare. Differenti studi di posizionamento (Schober *et al.*, 1984; Haller e Imfeld, 2001; Licoppe e Lievens, 2001) hanno dimostrato che l'errore di stima della distanza con antenne VHF è notevole (70 - 500 m), se confrontato con le stesse misurazioni ottenute dalla telemetria satellitare (Rodgers, 2001).

Altri problemi possono essere connessi al numero di rilevamenti realmente possibili ed alla loro scansione temporale. Con la tecnologia radio VHF, per motivi pratici, le registrazioni risultano essere numericamente scarse e non è facile ripartirle in modo adeguato nel tempo; risultano essere infatti limitati gli studi radio-telemetrici che riguardano determinazioni di coordinate geografiche in modo continuo e ad intervalli di tempo regolari; questo perché studi basati sulla tecnica della triangolazione implicano necessariamente determinazioni approssimative a causa della facilità di perdere le tracce degli animali durante i continui spostamenti (Kenward, 1987). Negli anni si pensa che siano stati prodotti e commercializzati almeno 60.000 radio telemetri VHF con continui miglioramenti nelle prestazioni degli strumenti e con una progressiva riduzione delle varie limitazioni d'uso, senza però risolverle interamente. Sarà compito, quindi, della tecnologia spaziale, che fornisce la spinta per la progettazione di strumenti via satellite altamente sofisticati ed efficienti, trovare una soluzione con lo scopo di migliorare le misurazioni offrendo approcci metodologici alternativi.

In tal senso a partire dagli anni '80 sono andati sviluppandosi sistemi telemetrici satellitari: da quando le unità GPS hanno iniziato a essere disponibili in commercio, i convenzionali trasmettitori VHF sono stati meno utilizzati a favore delle nuove tecnologie. Queste hanno offerto innovative capacità di ricerca per il posizionamento a distanza di animali e, a partire da applicazioni su animali di grandi dimensioni (Kenward, 2001), si è via via affinata la tecnologia fino a rendere possibili applicazioni anche per lo studio di insetti.

È quindi evidente come questa tecnologia abbia suscitato l'interesse crescente degli studiosi del settore. Tale tecnologia si è estesa a molti e diversificati settori professionali che interessano la geodesia, la cartografia, il tempo libero, fino al tracciamento di animali; la dimostrazione di ciò è che molte aziende operanti in questi ambiti sono in costante evoluzione e mettono sul mercato ricevitori adattabili per applicazioni GPS innovative. Al momento della piena operatività del sistema si è iniziato, infatti, ad investigare sul potenziale ruolo che il sistema satellitare avrebbe potuto avere per il *tracking of animals*, e su quali potessero essere i probabili utenti (Garvin *et al.*, 1972).

La disponibilità di diverse piattaforme di navigazione (NAVSTAR, ARGOS, GLONASS, EGNOS e in futuro GNSS), anche integrabili tra loro, ha fornito una copertura

globale per i rilevamenti geografici, ma ha reso possibili applicazioni sperimentali di telemetria animale per verificare sia l'adattabilità (Taillade, 1992) sia la precisione delle misure (Britten *et al.*, 1999). I primi studi di monitoraggio dei movimenti degli animali su larga scala, come i flussi migratori di uccelli, pesci e mammiferi, sono stati condotti con dispositivi della *Telonics Inc.* (USA), appoggiandosi alla piattaforma *NAVSTAR/GPS*, riconosciuta come la più efficiente in termini di costi e prestazioni se confrontata con i sistemi telemetrici terrestri.

Su indicazione di tali studi numerose istituzioni che si occupano di etologia ed ecologia animale, soprattutto americane e nord-europee, hanno preso la decisione di sviluppare la conoscenza dei modelli comportamentali degli animali e le problematiche connesse alla gestione del territorio, attraverso i collari GPS (fig. 1).



Fig. 1. Bovine al pascolo dotate di collare GPS e suini con GPS e trasmissione dati via GSM

Lo sviluppo commerciale di questa nuova strumentazione applicata alla telemetria animale è iniziata nel 1991; negli anni varie configurazioni sono state progettate per le diverse condizioni di studio, così come sono stati apportati continui miglioramenti a forma, dimensioni e prestazioni degli strumenti. Risale al 1994 la commercializzazione del primo collare GPS, che è stato collaudato per studi di posizionamento di caribù e alci nel nord dell'Ontario (Rodgers *et al.*, 1995, 1996, 1997); altre prove sperimentali sono state condotte alla fine degli anni '90 in ambiti territoriali differenti su ovini (Rutter *et al.*, 1997), bovini (Udal *et al.*, 1998, 1999) e su numerose altre specie animali (Rempel *et al.*, 1995; Rodgers *et al.*, 1996; Hulbert *et al.*, 1998) per verificarne il diverso grado di adattabilità.

I risultati dei primi quindici anni di studi hanno mostrato la potenzialità del sistema, che si è rivelato sufficientemente adeguato allo studio degli habitat degli animali. Con la telemetria satellitare è stato possibile superare molte limitazioni della telemetria radio VHF come, ad esempio, il ridotto numero di campionamenti che questa ultima effettivamente consente. Si è arrivati infatti a poter registrare un elevato numero di dati, anche ad intervalli di tempo molto ridotti (1 s), con alta qualità di precisione per tutta la durata del giorno e in qualsiasi condizione meteorologica, con conseguente aumento dell'intensità di campionamento (Rempel e Rodgers, 1997; Rodgers, 2001). Il miglioramento delle prestazioni del sistema ha riguardato principalmente la definizione degli algoritmi dei GPS ricevitori in modo da acquisire segnali satellitari rapidamente, al fine di avere una registrazione continua ad intervalli di tempo programmabili molto ristretti. Fino al 1994 esistevano *software* in grado di gestire soltanto 500 dati di posizionamento; col tempo l'evoluzione dei programmi ha portato alla gestione di circa 3.000 dati (Larkin e Halkin, 1994; Rodgers, 1997). Oggi queste limitazioni sono state superate dai GPS delle ultime generazioni, che possono registrare molte migliaia di dati (anche 9.000 misurazioni) per singolo animale (Rodgers, 1996, *Lotek Wireless Inc.*, 2001). Alcuni programmi sono stati aggiornati per fornire un numero maggiore di dati e

per essere interfacciati con pacchetti GIS, idonei alla gestione e all'analisi di molti dati di posizionamento.

Un altro elemento trainante per lo sviluppo futuro di questa tecnologia è rappresentato dalla potenziale esattezza e precisione delle misurazioni effettuate dal sistema: da quando poi nel maggio 2000 il Dipartimento della Difesa americano ha disabilitato un sistema di sicurezza (SA) il rilevamento delle posizioni si è ulteriormente perfezionato. È stato dimostrato da numerosi studiosi che prima della rimozione della SA, l'esattezza delle misure ottenute con i GPS differenziali variasse tra 4 e 8 m (Moen *et al.*, 1997; Rempel e Rodgers, 1997) mentre quella ottenibile da un GPS semplice potesse essere affetta da errori variabili tra 20 e 80 m.

Successivamente è stato fatto ricorso anche a "correzioni in post-elaborazione" di misure spaziali: dall'elaborazione dei dati acquisiti sono emersi risultati sensibilmente migliori per quanto riguarda la più elevata esattezza (3,6 - 5 m) e precisione (8 - 12 m) delle misure eseguite (Turner *et al.*, 2000; Hulbert e French, 2001). Nei prossimi anni con opportuni affinamenti sarà possibile giungere anche a livelli qualitativi superiori, scendendo a esattezze submetriche per registrazioni ad 1 s (Capaccio *et al.*, 1997), anche in ambiti morfologici critici (Haller e Imfeld, 2001).

Anche per quanto riguarda la componentistica dei GPS ricevitori (*design* dell'antenna, dimensioni e potenza delle batterie) si è assistito ad una rapida evoluzione (Rodgers, 2001) e ulteriori e continui progressi sono prevedibili in futuro. La graduale sensibilità raggiunta dai ricevitori permetterà di ottenere applicazioni GPS in qualsiasi condizione ambientale, rendendo possibile lo studio di animali che solitamente frequentano ambienti dove il segnale arriva attenuato (Von Hunerbein e Ruter, 2001).

Esistono ancora dei problemi in merito alle possibilità di recupero dei dati delle misurazioni ottenute; le opzioni di *download* più praticate prevedono le seguenti tecniche:

- trasmissione dati tramite rete locale o collegamento satellitare,
- archiviazione dati *on board* con successivo *download*,
- trasmissione dati attraverso reti di telefonia mobile.

La trasmissione tramite rete locale permette, oltre al recupero dei dati, la diagnosi delle informazioni e la riprogrammazione dello strumento. Il sistema consiste di un'unità GPS, equipaggiata di un radio-modem, che viene portata dagli animali e di un'unità di controllo operante entro una distanza di 15 km dall'animale per rendere possibile la comunicazione. Le prime unità avevano una capacità di archiviazione di circa 3.640 registrazioni, ma non immagazzinavano misurazioni necessarie per le correzioni differenziali (*pseudorange* e numero dei satelliti identificati); le versioni successive riuscivano a memorizzare le correzioni differenziali pur effettuando un numero limitato di misurazioni (soltanto 168).

Altri collari GPS, di fabbricazione svedese, fornivano invece un collegamento di trasmissione locale per il recupero delle registrazioni basato sulla radiotrasmissione di onde VHF ad un ricevitore. In tal modo le funzioni del trasmettitore VHF sono dupplici: ausilio alla localizzazione degli animali, secondo tecniche di direzione convenzionali (triangolazione), e collegamento (radio) per il trasferimento dei dati. Tale trasmissione può arrivare a coprire una distanza ridotta (circa 1,5 km) per un numero di registrazioni variabile da 2.000 a 15.000 a seconda delle capacità funzionali delle batterie (Rodgers, 2001).

Nella metà degli anni '90 *Telonics Inc.* ha sviluppato un sistema per trasferire i dati in tempo reale attraverso il sistema satellitare ARGOS (Rodgers *et al.*, 1997); i collari attaccati agli animali includevano una piattaforma trasmettitore e un GPS ricevitore con segnale VHF.

L'ultima generazione di GPS per la telemetria animale è invece concettualmente più semplice. Tutti i dati del GPS sono memorizzati sull'unità di bordo fissata agli animali: la

memoria temporanea dello strumento può essere recuperata o tramite un meccanismo radio (VHF) o tramite il recupero dell'animale. La notevole capacità di memorizzare a bordo le informazioni, permette allo strumento di effettuare circa 5.300 registrazioni in modalità differenziale e fino a 13.900 in modalità non differenziale. La dotazione aggiuntiva del segnale VHF consente inoltre il più facile recupero dell'unità GPS e il monitoraggio dello stato dello strumento.

Nuovi sistemi di trasmissione, con l'impiego di strategie alternative, sono attualmente in fase di studio e perfezionamento: la prossima generazione di GPS farà infatti ricorso a reti di telefonia mobile per la comunicazione dei dati tramite collegamenti con il *provider* di gestione (Legat e Hofmann-Wellenhof, 2000). Il trasferimento dei dati può avvenire in tempo reale via *Short Message Service (SMS)*, indipendentemente dalla distanza tra il collare e l'utente ricevitore. La potenziale integrazione del GPS con la tecnologia cellulare GSM dovrebbe permettere una maggiore flessibilità nel recupero dei dati, oltre ad intervenire nella comprensione del comportamento di animali non recuperabili. Parallelamente si stanno affinando anche dispositivi GPS dotati di comunicazione *wireless* sia per il *setup* che per il *download* dei dati entro distanze di circa 2 km. I GPS associati a questi sistemi di trasmissione si prestano pertanto ad essere interrogati ogni istante per modificare il settaggio o per visualizzare in tempo reale i *position-fixes*.

La varietà dei sistemi GPS ora disponibili consente di selezionare la più appropriata metodologia di trasmissione secondo le applicazioni richieste: tali considerazioni sono utili quindi a capire come il tipo di strumentazione debba essere valutato in dipendenza del tipo di studio per cui esso è preposto al fine di raggiungere gli obiettivi pianificati.

2.2. MONITORAGGIO IN EDIFICI O PICCOLE AREE ALL'APERTO

Le tecniche di monitoraggio da attuare negli allevamenti zootecnici dotati di edifici possono essere di diverse tipologie, in relazione a ciò che deve essere osservato: comportamenti di massa o individuali degli animali nello spazio vitale (box, gabbia, ecc.), comportamenti specifici nei confronti di determinate attrezzature o impianti, valutazioni mirate (competizione tra gli animali, fenomeni di aggressività, lotte, ecc.).

Per lo studio dei comportamenti di massa, una tecnologia abbastanza speditiva per la valutazione del comportamento animale è quella basata sull'uso di sensori a luce infrarossa (*PID*). I sensori percepiscono la posizione degli animali in un box in base alle differenze termiche degli stessi con quelle ambientali. La sensibilità spaziale del segnale, in grado di rilevare piccole aree (circa 60 m² nell'esperienza citata) dipende dall'orientamento del sensore stesso e dalla distanza della zona da rilevare. Tale segnale viene di seguito acquisito in un *data-logger* ed elaborato in un PC. Con tale tecnica, ad esempio, sono stati condotti interessanti studi sul comportamento di suini in accrescimento in box con differenti livelli di polverosità (Pedersen, 1993; Pedersen *et al.*, 1994).

Un altro sistema per studiare il comportamento di animali è rappresentato dal pedometro, ossia da uno strumento che è di comune utilizzo negli allevamenti bovini da latte. La possibilità di utilizzare questo apparecchio per studi comportamentali è stata testata in Germania e Svizzera su bovini ed equini. Mediante opportuni sensori è possibile rilevare, oltre ai tempi di attività e riposo degli animali, anche parametri termometrici. La trasmissione dei dati al PC avviene via radio-modem. Coll'uso del pedometro è stato possibile investigare i bioritmi giornalieri degli animali e giungere ad un corretto dimensionamento delle aree pascolive (Brehme *et al.*, 2006). I tempi di acquisizione dei dati possono essere programmati a diversi intervalli di tempo (da 1 a 60 min), a seconda delle necessità.

Indubbiamente la tecnica più utilizzata per lo studio del comportamento di animali

all'interno di edifici o in piccole aree all'aperto è quella basata sull'uso di apparecchiature di videoregistrazione. Dalla fine degli anni '70 il sistema è stato ampiamente adottato anche in Italia per studi di etologia applicata, in particolare riguardanti i bovini e i suini (Barbari e Chiappini, 1985).

Il monitoraggio in continuo degli animali è possibile mediante l'impiego di un sistema televisivo a circuito chiuso: telecamere, dotate di un illuminatore a raggi infrarossi per le riprese notturne, collegate ad un registratore *time-lapse*, con opportuni sistemi (es. *mixer*) in grado di registrare più immagini contemporaneamente sulla stessa videocassetta. Il sistema consente di eseguire studi anche molto accurati sul comportamento di singoli animali in un gruppo. Indubbiamente la fase di elaborazione dei dati è impegnativa in termini di tempo e la visione delle cassette richiede una particolare attenzione da parte del rilevatore. L'esame della videocassetta deve poi essere seguita dal trasferimento dei dati su appositi fogli di calcolo elettronico e dall'elaborazione degli stessi.

Simili tecnologie, con gli opportuni accorgimenti tecnici (es. obiettivi zoom o grandangolari, potenti illuminatori IR, ecc.) possono essere adottate anche per il monitoraggio di animali allevati all'aperto o al pascolo semibrado.



Fig. 2. Sistema televisivo a circuito chiuso, con telecamere, infrarossi e videoregistratore (A). Antenna per la lettura di Tag passivi e trasmissione dati via cavo a PC (B).

Diversamente, l'identificazione elettronica individuale degli animali all'interno di particolari zone del box (zone di abbeverata, alimentazione, aree raffrescate, ecc.) può essere effettuata ricorrendo alla tecnologia *RFID* (*Radio Frequency Identification*). Il sistema è composto da un *Tag* o *Trasponder RFID* e da un *Reader RFID*; il *Reader* ha la funzione di leggere le informazioni contenute nel *Tag*, che è composto da un chip con memoria e da un'antenna.

Esistono *Tag* passivi, privi di batteria e funzionanti solo se sufficientemente vicini ad impulsi elettromagnetici; essi sono inseriti in collari, orecchini o anche posti sottocute, con modalità differenti da specie a specie. I *Tag* permettono l'individuazione univoca degli animali quando questi sostano in prossimità di un punto o di una zona oggetto di studio. Ai fini della raccolta di informazioni sul comportamento animale in aree-studio circoscritte, ad esempio per quanto riguarda l'uso di un'attrezzatura, i *Tag passivi* adempiono adeguatamente a questo compito.

Il sistema è stato recentemente applicato con successo in stazioni individuali di raffrescamento per scrofe gestanti in gruppo dinamico (200 capi), per verificare l'utilizzo delle stesse e avere informazioni dettagliate sull'uso da parte dei singoli capi (Barbari, 2005). A tale scopo è stato installato un sistema elettronico di trasferimento dati dalle stazioni di raffrescamento a un PC, costituito da un'antenna posta all'interno della stazione di raffrescamento (fig. 2 B), in grado di riconoscere il singolo animale dotato di transponder e da un cavo in grado di trasferire il segnale dalle stazioni al PC. Un idoneo *software* ha consentito di raccogliere in continuo le informazioni indirizzate al PC e di memorizzarle. In tal modo è stato possibile, nella successiva elaborazione, controllare l'uso della stazione di

raffrescamento in ogni momento del giorno per l'intera durata del periodo di sperimentazione, determinando in modo univoco codice dell'animale e tempi di utilizzo.

Analogo sistema è stato applicato per studiare in gruppi di bovini da carne il comportamento in prossimità di mangiatoie e in altre aree funzionali (Eigenberg *et al.*, 2005).

Molto interessanti ai fini dello studio del comportamento animale si dimostrano soprattutto i *Tag attivi*, che inviano autonomamente gli impulsi e che possono essere identificati da lettori anche lontani. Questa capacità è garantita dall'accoppiamento ad una batteria di alimentazione. Tali dispositivi possono essere utilizzati per il monitoraggio degli animali in ambienti chiusi e in recinti all'aperto di media grandezza, fornendo dati digitali facilmente computerizzabili.

I sistemi si possono basare su due concetti operativi diversi, per cui distinguiamo: sistemi *RTLS* (*Real Time Location System*) e sistemi *Marker* (dal nome dell'azienda che li ha sperimentati).

I sistemi *RTLS* sono composti da *Tag attivi* da posizionare sull'oggetto che si intende identificare e localizzare, da 4 antenne di ricezione, da un *Hub* di raccolta *hardware* dei dati e da un *software* di gestione dei dati installato su PC collegato in rete con funzione di *Reader*. La localizzazione è determinata dalle antenne che, ricevendo segnali di intensità differente, determinano la posizione dell'oggetto nello spazio. I *Tag* hanno pesi e grandezze variabili (es. *Microtag Eximia*: 131 x 28 x 21mm) e possono essere letti fino a 200 metri di distanza. L'area coperta dipende dal numero di antenne connesse al sistema. I *software* gestionali sono programmabili per fornire diverse informazioni: georeferenziazione, visualizzazione percorso singolo *Tag*, associazione ad eventi, ecc. La precisione del posizionamento dipende da tutti i componenti del sistema: in particolare dalla frequenza utilizzata e dai programmi di correzione dati. Il segnale convenzionale *Wi-Fi 802.11* garantisce precisioni nell'ordine dei metri per effetto dell'elevata distorsione delle onde. Altre tecnologie basate sull'*UWB* (*Ultra Wide Band*) possono raggiungere precisioni dell'ordine di 0,30 m.

Diversamente, il sistema *Marker* si basa sul concetto che il segnale di *RFID* attivo possa essere modificato sotto l'influenza di un campo elettromagnetico. Se tale campo identifica un'area, il *Reader* può associare all'identificazione dell'oggetto anche la posizione nel quale si trova. In ambiti di ricerca sul monitoraggio animale, ciò è ottenuto con la determinazione di aree di interesse, ciascuna sotto l'influenza di un campo elettromagnetico, prodotto appunto da un dispositivo chiamato *Marker*. Lo strumento di identificazione è costituito da *Tag attivi* di 50 g di peso e di dimensioni 131 x 28 x 21mm, applicati al collare dell'animale. Per quanto riguarda il sistema di acquisizione dati, nel caso in cui si tratti di fornire informazioni relative al passaggio da un'area all'altra e di identificare il posizionamento degli animali all'interno di un'area, la configurazione del sistema può essere di due tipologie: a) controllo del posizionamento di un capo; b) controllo del varco di accesso ad un'area.

La prima ipotesi è idonea per controllare in corrispondenza di quale posizione di una certa area l'animale si trovi o si sia trovato in un certo istante. Con simile configurazione occorre posizionare, in corrispondenza delle zone di interesse, tanti *Marker* quanti sono le aree di studio, supportando il sistema con una o più antenne collegate a diversi lettori. Questa configurazione permette di rilevare la presenza di un capo e di inviare al *Reader* l'identificazione del capo e del corrispondente *Marker*. Gli spazi operativi dei *Marker* variano da 1 ai 3 m², le antenne del *Reader* hanno capacità di lettura superiore ai 100 m di distanza dal *Tag* e dal *Marker* in un campo senza ostacoli. Anche in questo caso la superficie coperta è proporzionale al numero di antenne collegate.

Il secondo caso consiste nel verificare se un capo sia entrato o uscito da un'area oppure se sia in essa presente o assente ad un certo orario. Tale soluzione è tipica dei sistemi di

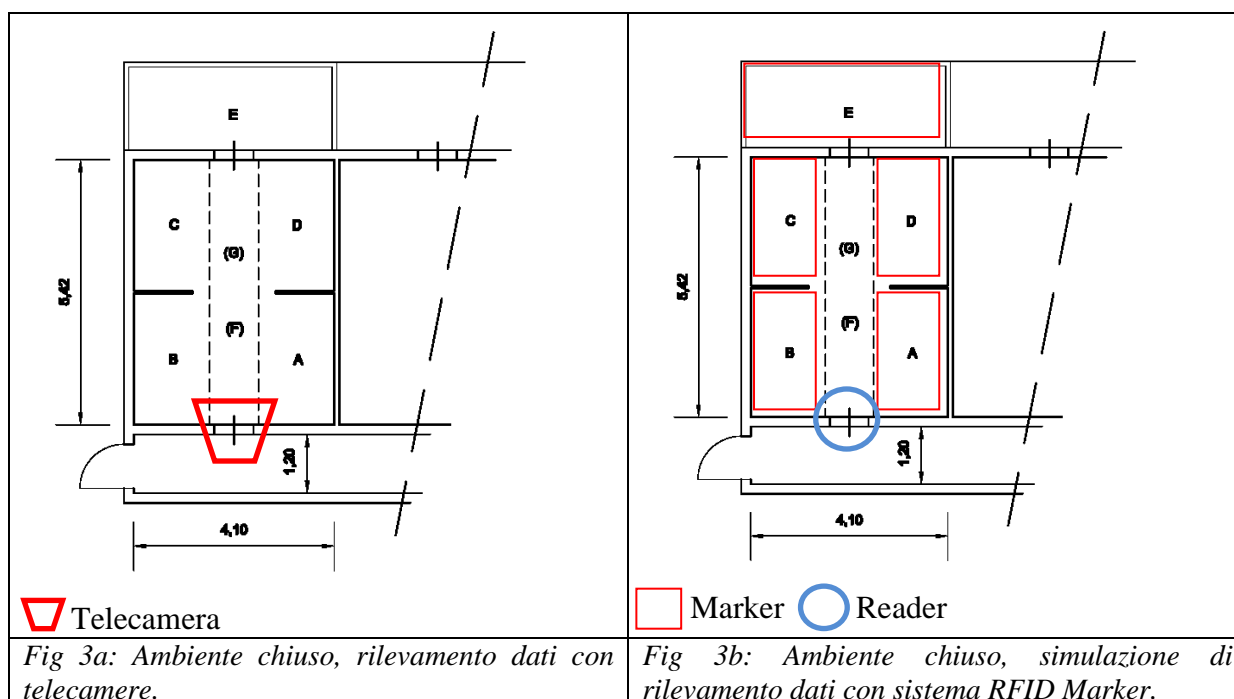
controllo degli accessi, che utilizzano *Tag attivi*. Non sfrutta le potenzialità del *Marker*, ma si avvale solo delle antenne collegate al *Reader*. Non vengono rilevati posizionamenti, ma solo transiti o presenza ed assenza.

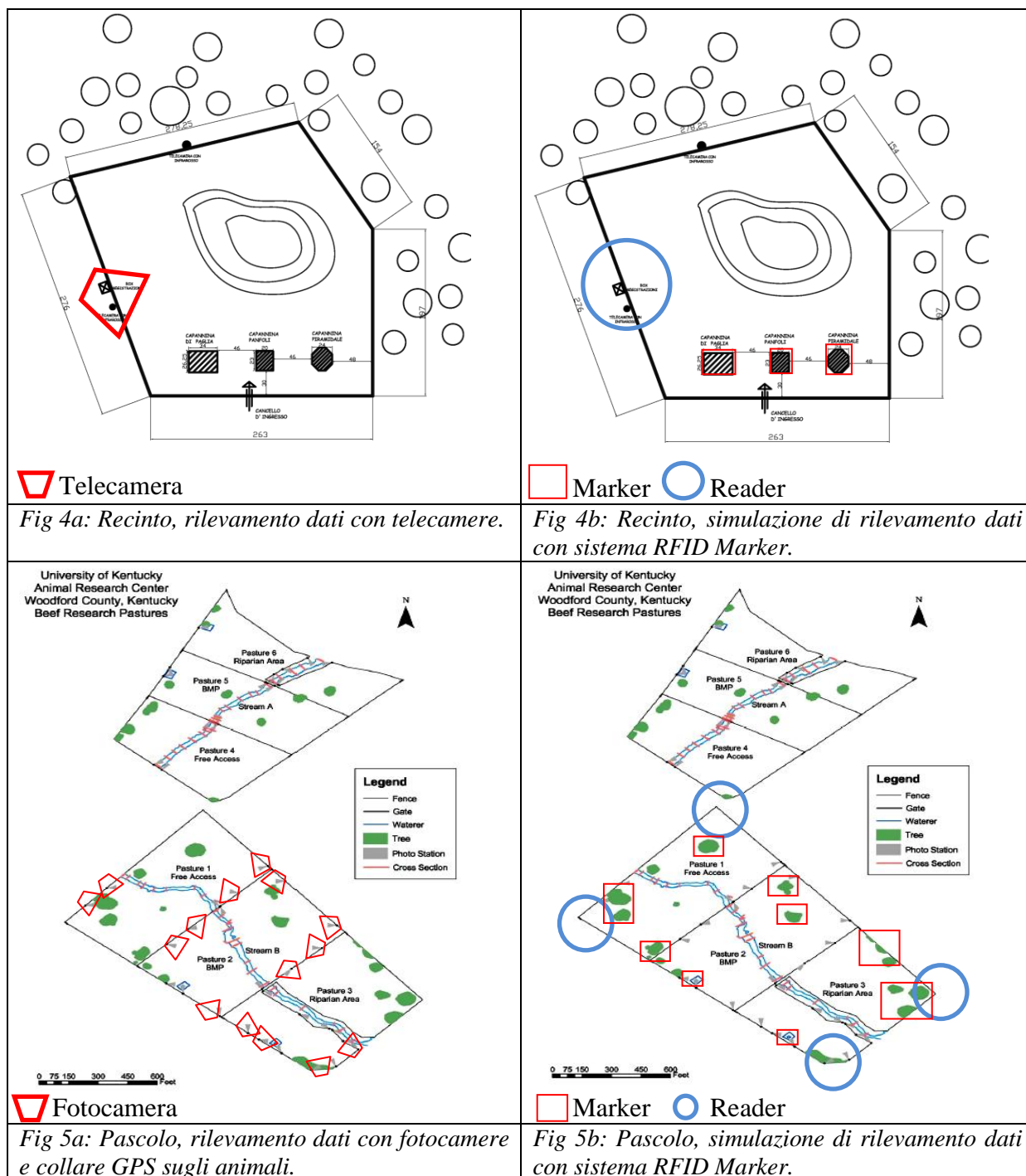
3. CASI-STUDIO

Per dimostrare come l'evoluzione della tecnologia nel campo della localizzazione automatica degli animali possa essere utile per gli studi di monitoraggio del comportamento animale vengono di seguito portati tre esempi. Sono state selezionate tre aree di studio, prendendo a riferimento precedenti sperimentazioni condotte presso il Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale. Esse presentano caratteristiche diverse, ma si riferiscono a tipologie di ambienti chiusi e semi-bradi, nei quali è possibile l'introduzione di sistemi elettronici di monitoraggio *RFID*.

Per lo studio del comportamento animale in questi ambienti sono state utilizzate nelle precedenti esperienze sistemi di videoregistrazione con l'uso di telecamere posizionate in modo da controllare spazi diversi di utilizzazione (cucette, capannine, zone ombreggiate, punti di abbeverata, ecc.) oppure sistemi GPS nelle aree a pascolo.

Nelle figure 3a, 4a e 5a sono mostrate le aree interessate dagli studi. Le immagini evidenziano in rosso la disposizione delle telecamere e delle zone da rilevare. Le figure 3b, 4b e 5b sono una simulazione dell'introduzione della tecnologia *Marker*. In rosso sono colorate le aree che, se delimitate con il sistema *Marker*, potrebbero fornire lo stesso tipo di informazione delle telecamere, ma in formato immediatamente disponibile per l'elaborazione dei dati. Rispetto al sistema di videoregistrazione, il sistema *Marker* consente un'immediata elaborazione delle informazioni sulla posizione degli animali e, quindi, sull'utilizzo delle diverse aree, ma non consente un'analisi dettagliata di comportamenti specifici (animale in riposo o attività, interazioni tra gli animali, espletazione di particolari comportamenti). In azzurro sono segnate il numero di antenne/*Reader* necessarie per ciascun ambiente. La comodità del sistema è facile da percepire. Sono necessari però degli studi comparativi per dimostrare l'affidabilità dei sistemi e determinare i costi/benefici della sostituzione o integrazione dei vari mezzi.





4. CONCLUSIONI

Differenti sono le soluzioni disponibili per il monitoraggio degli animali, sia allo stato selvatico sia in allevamenti estensivi o intensivi. Il ricercatore ha quindi a disposizione una vasta gamma di soluzioni, che dovrà prendere in considerazione prima di affrontare un'attività di ricerca e, quindi, prima di definire il protocollo sperimentale.

Oltre ai sistemi da tempo in uso negli studi di etologia zootecnica, si pongono oggi alla ribalta i sistemi *RFID* (*Radio Frequency Identification*), in particolare quelli basati sull'uso di *Tag* attivi.

L'evoluzione tecnologica degli ultimi anni, che ha portato a una forte riduzione dei

volumi e dei fabbisogni energetici e al cospicuo incremento nella capacità di memorizzazione dei dati, unita alla disponibilità e alla sperimentazione di nuove frequenze radio, rende sempre più interessante il sistema *RFID*, per l'identificazione di cose nello spazio. L'universalità di utilizzo di queste tecnologie fa già parlare in prospettiva di un "*Internet of things*". È soprattutto il settore del management industriale e della logistica a fare da traino alla ricerca in questo campo.

Soluzioni innovative però possono trovare spazio in campo zootecnico: i casi-studio illustrati nel lavoro saranno sviluppati nei prossimi anni dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale, allo scopo di definire le metodologie più appropriate nelle diverse situazioni di sperimentazione.

Bibliografia

- AA.VV. (2006). *RFID Tecnologie per l'innovazione*. Fondazione Ugo Bordoni e Federcomin. Roma.
- Barbari M. (2005). *Planning individual showering systems for pregnant sows in dynamic groups*. Proc. VII Intern. Symposium ASAE on Livestock Environment, Pechino, 18-20 Maggio: 130-137.
- Barbari M. e Chiappini U. (1985). *Raffrescamento dei suini mediante docce*. Atti Convegno Internazionale CIGR II° Sezione, Catania, 25-28 settembre.
- Brehme U., Stollberg U., Strickler B., Von Niederhäusern R. e Zurkinden H. (2006). *Daily biorhythm from horses measured with ALT pedometer for checking the well-being in different horse keeping systems*. World Congress CIGR, Bonn, 3.-7 September.
- Britten M. W., Kennedy P. L., e Ambrose S., 1999. *Performance and accuracy evaluation of small satellite transmitters*. Journal of Wildlife Management 63: 1349-1358.
- Capaccio S., Lowe D., Walsh D. M. A. e Daly P. (1997). *Real time differential GPS/Glonass trias in Europe using all in view 20 channel receivers*. Journal of Navigation 50: 193-208.
- Eigenberg R. A., Brown-Brandl T. M., Nienaber J. A. e Hahn G.L. (2005) *Development of a cattle ID monitoring system*. Proc. VII Intern. Symposium ASAE on Livestock Environment, Pechino, 18-20 Maggio: 600-606.
- Garvin L. E., Henriksen S. W., Liskov N. A., Pascucci R. P., e Ziolkowski F. (1972). *Satellite wildlife research program, final technical report*. NASA Report TR-1424.
- Haller R. e Imfeld S. (2001). *Evaluation of GPS-Technology for tracking mountain ungulates: VHF-Transmitters or GPS-collars*. Int. Conference. Maculay Land Use Research Institute of Aberdeen. 12-13 Marzo, pp. 61-67.
- Hovland N. e Andreassen H. P. (1995). *Fluorescent powder as dye in bait for studying foraging areas in small mammals*. Acta Theriologica 40: 315-320.
- Hulbert I. A. R., French J., Gooding R. F., Rackham D., Holland J. P., Waterhouse A. (1998). *A test of the accuracy of the differential Global Positioning System (DGPS) to track free-ranging hill sheep*. Proc. IX European Intake Workshop. North Wyke. 18-20 Novembre.
- Hulbert I. A. R. e French J. (2001). *The accuracy of GPS for animal telemetry and habitat mapping*. Journal of Applied Ecology.
- Kenward R. E. (1987). *Wildlife radio tagging. Equipment, field techniques and data analysis*. Academic Press, London.
- Kenward R. E. (2001). *A manual for wildlife radio tagging*. Academic Press, San Diego, California.
- Larkin R. P. e Halkin D. (1994). *A review of software packages for estimating animal home ranges*. Wildlife Society Bulletin, 22: 274-287.
- Legat K. e Hofmann-Wellenhof B. (2000). *Galileo or for whom the bell tools*. Earth Planets Space, 52: 771-776.

- Licoppe A. M. e Lievens J. (2001). *The first tracking results from a female free-ranging red deer fitted with a GPS collar in Ardenne, Belgium*. Int. Conference. Maculay Land Use Research Institute of Aberdeen. 12-13 Marzo, pp. 25-28.
- Lotek Wireless Inc. (2001). *GPS solutions from Lotek Wireless: a new approach to wildlife research*. Intern. Conference. Maculay Land Use Research Institute of Aberdeen. 12-13 Marzo, pp. 103-106.
- Moen R., Pastor J. e Cohen Y. (1997). *Accuracy of GPS telemetry collar locations with differential correction*. Journal of Wildlife Management, 61: 530-539.
- Pedersen S. (1993). *Time based variation in airborne dust in respect to animal activity*. Livestock Environment IV. Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, 6-9 July.
- Pedersen S. e Takai H. (1994). *Animal Activity monitored by PID- technique*. International Conference on Agricultural Engineering, Milano, 29 August-1st September.
- Rempel S. e Rodgers A. R. (1995). *Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy*. Journal of Wildlife Management, 59: 543-551.
- Rempel S. e Rodgers A. R. (1997). *Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system*. Journal of Wildlife Management, 61: 525-530.
- Rodgers A. R., Rempel S. e Abraham K. F. (1995). *Field trials of a new GPS-based telemetry system*. Proc. XIII Symposium on Biotelemetry. March 26-31, 1995. Williamsburg, Virginia. pp. 173-178.
- Rodgers A. R., Rempel S. e Abraham K. F. (1996). *A GPS based telemetry system*. Wildlife Society Bulletin, 24: 559-566.
- Rodgers A. R., Rempel S., Moen R., Paczkowski J., Schwartz C., Lawson E. J. e Gluck M. J. (1997). *GPS collars for moose telemetry studies: a workshop*. Alces, 33: 203-209.
- Rodgers A. R. (2001). *Tracking animals with GPS: the first ten years*. International Conference. Maculay Land Use Research Institute of Aberdeen. 12-13Marzo, pp. 1-10.
- Rutter S. M. N., Beresford A. e Roberts G. (1997). *Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep*. Computer and Electronics Agriculture, 17: 177-188.
- Taillade M. (1992). *Animal tracking by satellite*. In Wildlife Telemetry: remote monitoring and tracking of animals, pp. 149-160.
- Turner L. W., Udal M. C., Larson B. T. e Shearer S. A. (2000). *Monitoring cattle behaviour and pasture use with GPS and GIS*. Canadian J. Animal Science, 80: 405-413.
- Udal M. C., Turner L. W., Larson B. T. e Shearer S. A. (1998). *GPS tracking of cattle on pasture*. American Society of Agricultural Engineers Meeting. Paper 983134. ASAE, USA.
- Udal M. C., Turner L. W., Larson B. T., Driedger L. J. e Shearer S. A. (1999). *Grazing time and assessment for beef cows on pasture using GPS*. J. Animal Science, 77 (1): 203-213.
- Von Huneberline K. e Ruter E. (2001). *A very lightweight flight recorded for homing pigeons based on GPS and examples of tracks*. Int. Conference. Maculay Land Use Research Institute of Aberdeen. 12-13 Marzo, pp. 95-97.